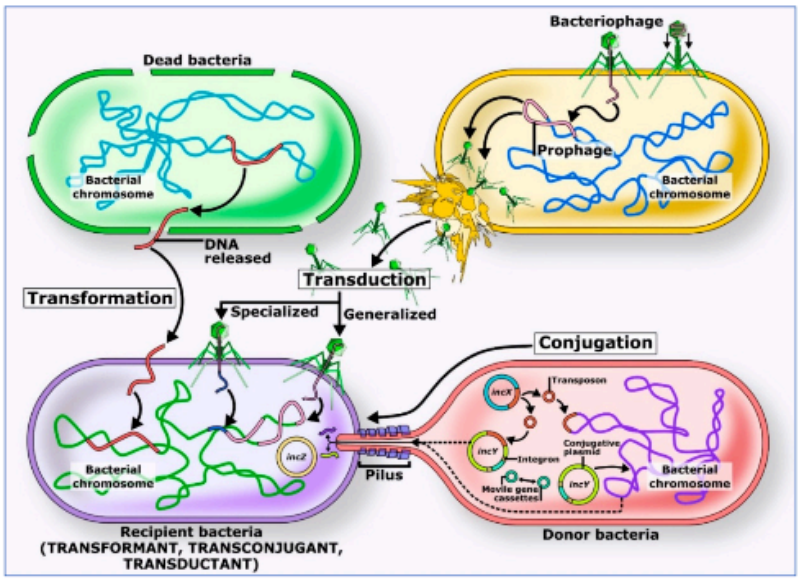
TEMA 9: LA SELECCIÓN SEXUAL

⇒ EL ORIGEN DEL SEXO



Este esquema nos muestra los mecanismos de intercambio genético en bacterias, a pesar de que su reproducción es asexual.

Se producen tres procesos principales:

1. **Conjugación**: Es el proceso por el cual una bacteria transfiere material genético a otra a través de un pilus. En la imagen, se ve cómo una bacteria donadora transfiere plásmidos con genes específicos (como los de resistencia a antibióticos) a una bacteria receptora.

2. **Transformación**: En este mecanismo, una bacteria capta fragmentos de ADN libre del ambiente, proveniente de bacterias muertas. En la imagen, se observa cómo el ADN liberado es incorporado en el cromosoma de la bacteria receptora.

3. **Transducción**: Ocurre cuando un bacteriófago (virus que infecta bacterias) transporta fragmentos de ADN de una bacteria a otra. Se representan dos tipos:

- **Generalizada**: Cuando cualquier fragmento del ADN bacteriano es transferido.
- **Especializada**: Cuando el fago transfiere fragmentos específicos del ADN de la bacteria.

Estos procesos son fundamentales para la diversidad genética de las bacterias y su adaptación a diferentes ambientes, como la adquisición de resistencia a antibióticos.

HIPÓTESIS DEL ORIGEN DE LA REPRODUCCIÓN SEXUAL

1. **Origen primitivo:**

• Hace al menos unos **1.200 millones de años**, aparecieron los primeros organismos **diploides** (con dos conjuntos de cromosomas), como resultado de la **fusión de organismos haploides** (que tienen solo un conjunto de cromosomas).

2. **Primeras formas de reproducción:**

• Estos organismos diploides inicialmente podrían haberse reproducido por simple copia de sí mismos, mediante **reproducción asexual** (sin intercambio genético).

• Otra posibilidad era dividirse nuevamente en dos células haploides, conservando así su capacidad original de vivir como células haploides. Estas células haploides posteriormente podrían volver a fusionarse, recordando así su pasado haploide.

3. **Ventajas de la reproducción sexual:**

• Los organismos obtenidos mediante la reproducción sexual, debido al intercambio genético, habrían resultado en promedio más **eficaces o exitosos** evolutivamente que aquellos que eran simples copias (clones), al aumentar la variabilidad genética.

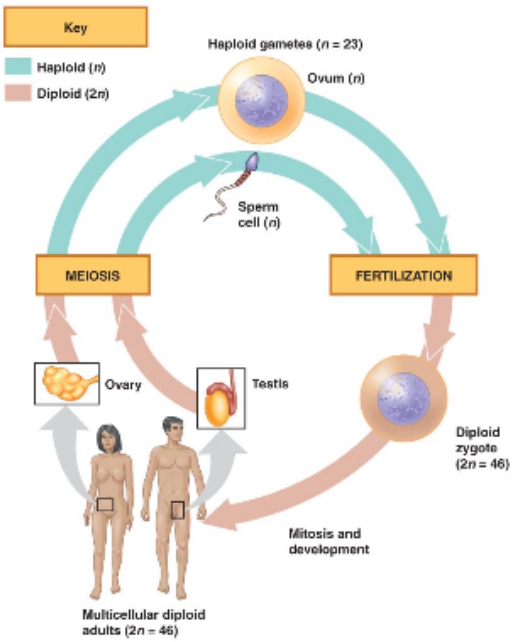
• Esta variabilidad genética permite adaptarse mejor a los cambios del entorno y resistir mejor enfermedades o condiciones adversas.

Por todo ello, la reproducción sexual surgió probablemente por la ventaja evolutiva que representó mezclar los genes de dos organismos diferentes, aumentando así la diversidad genética y la capacidad adaptativa.

ORGANISMOS MULTICELULARES: PRODUCCIÓN DE GAMETOS

Los gametos son células especializadas para la reproducción sexual:

- **Óvulos (gametos femeninos)**
- **Espermatozoides (gametos masculinos)**



¿Cómo se forman los gametos en organismos multicelulares?

• Los gametos se producen mediante un proceso especial llamado **meiosis**:

• Este proceso reduce a la mitad el número de cromosomas (de diploide a haploide).

• Así, cuando dos gametos (cada uno haploide) se unen durante la fecundación, restablecen el número diploide original del organismo.

Importancia biológica de este proceso:

• La producción de gametos mediante meiosis es crucial porque:

• **Aumenta la variabilidad genética**, ya que mezcla los genes de los progenitores.

• Permite que las especies puedan adaptarse mejor a cambios ambientales y sobrevivir a largo plazo.

Diferencias entre gametos masculinos y femeninos:

• Generalmente:

• Los **espermatozoides** son numerosos, pequeños, móviles, y destinados a desplazarse hasta encontrar el gameto femenino.

• Los **óvulos** suelen ser menos numerosos, más grandes, con abundantes nutrientes y normalmente inmóviles, ya que proporcionan reservas nutritivas para el embrión en formación.

Isogamia y Anisogamia:

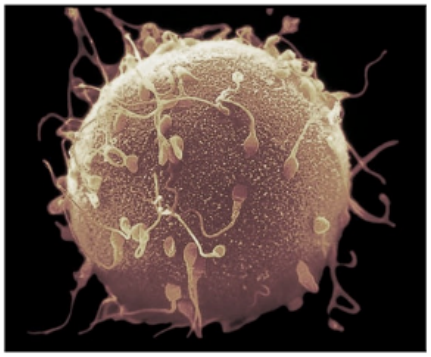
• Isogamia (condición ancestral):

Es cuando los gametos son **iguales en tamaño y forma**. No existe una diferenciación clara entre gametos masculinos y femeninos, como sucede en algunas algas. En el gameto de alga ambos gametos son prácticamente idénticos.



• Anisogamia (condición derivada):

Es cuando los gametos son claramente **diferentes en tamaño y forma**. Por ejemplo, en humanos:



Gametos humanos

• El **óvulo** es grande, inmóvil, y con muchas reservas nutricionales.

• Los **espermatozoides** son pequeños, numerosos, móviles, y destinados a desplazarse hacia el óvulo para fecundarlo.

La **anisogamia** por tanto, representa una adaptación evolutiva que facilita la reproducción sexual eficaz y contribuye a la diferenciación funcional entre sexos, resultando ser una ventaja evolutiva al especializar funciones entre ambos tipos de gametos.

ESTRATEGIAS EN LA ANISOGAMIA

En la anisogamia, los gametos evolucionaron en dos direcciones diferentes:

• **Gametos grandes (óvulos)**:

• Son **poco móviles,** pero poseen **muchos recursos nutricionales**.

• Su ventaja es que pueden sobrevivir durante mucho tiempo, esperando a encontrarse con otro gameto.

• **Gametos pequeños (espermatozoides)**:

• Son muy móviles y numerosos.

• Contienen pocos recursos nutritivos.

• Viven poco tiempo, pero pueden recorrer grandes distancias para encontrar al gameto grande.

Estas dos estrategias diferentes aumentan la probabilidad de que los gametos puedan encontrarse y realizar la fecundación, mejorando así el éxito reproductivo y la supervivencia de las especies.

⇒ PROPORCIÓN DE SEXOS Y SELECCIÓN SEXUAL

1. Proporción sexual habitual

• Habitualmente, la proporción entre machos y hembras en la mayoría de las especies es cercana a **1:1**.

• Esto se explica por la **selección dependiente de frecuencia**, que favorece este equilibrio debido a que desviarse demasiado resulta desfavorable evolutivamente.

2. Coste energético diferente para machos y hembras

• Aunque cada progenitor aporta genéticamente un 50% a cada descendiente, el esfuerzo energético no es simétrico:

• **Hembras**: suelen invertir muchos más recursos que los machos en la reproducción, especialmente en organismos que producen pocos descendientes.

• **Machos**: su inversión suele ser limitada, principalmente produciendo numerosos gametos, menos costosos energéticamente.

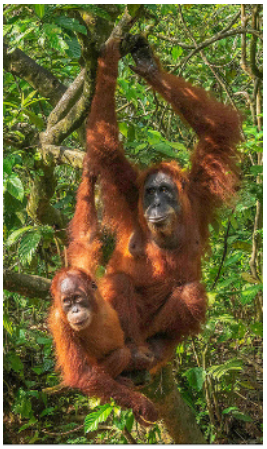
2.1 Ejemplo de inversión energética dispar

• La diferencia en esfuerzo parental es clara:

• **Gametos femeninos** (óvulos): tienen mucha energía almacenada (citoplasma, nutrientes, organelos).

• **Gametos masculinos**: esencialmente solo aportan ADN y movilidad, siendo pequeños y numerosos.

2. Ejemplo ilustrativo (orangutanes)



• Dos orangutanes copulan (± 15 min), y la hembra queda preñada.

• **Hembra** (50 kg aprox.):

• Embarazo de 8 meses, parto de una cría que pesa aproximadamente 1 kg.

• Cuidado prolongado (hasta 7-8 años).

• **Macho** (70 kg aprox.):

• Su esfuerzo parental es extremadamente bajo, limitado prácticamente al aporte inicial del esperma, sin cuidado posterior.

3. Potencial reproductivo

• **Potencial reproductivo femenino**: limitado por la cantidad de óvulos producidos, embarazos posibles, y tiempo invertido en la crianza.

• **Potencial reproductivo masculino**: muy elevado, limitado únicamente por la disponibilidad de hembras con las que aparearse.

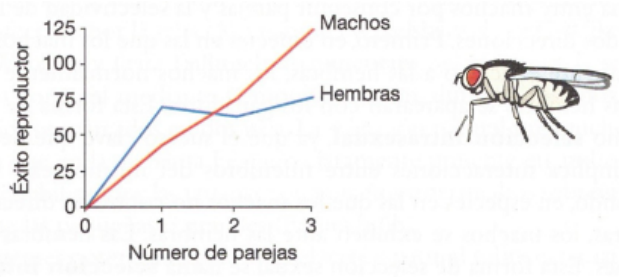
4. Experimento (Moscas del vinagre: Drosophila)

• **Angus John Bateman** (1919-1996), fue un genetista inglés que realizó una investigación con la mosca del vinagre; utilizó moscas de distintas líneas genéticas endogámicas. Realizó un total de seis series de experimentos, usando igual número de individuos de cada sexo (3 ♀ vírgenes, 3 ♂).



• El objetivo del experimento era medir quién tenía más éxito reproductivo según la disponibilidad de parejas.

• Se confirmó que, para los machos, la **disponibilidad de parejas es el factor limitante principal**. Cuantas más hembras tengan disponibles, mayor será su éxito reproductivo. **Los machos son competitivos**.



• Para las hembras, este factor no es el limitante, ya que ellas tienen un número limitado de óvulos o embarazos posibles. **Las hembras son selectivas.**

En resumen:

La proporción sexual equilibrada (aproximadamente 1:1) es mantenida por la selección natural dependiente de frecuencia. Sin embargo, la inversión energética es mucho mayor en las hembras, lo que limita su potencial reproductivo. Los machos, con menos inversión, están limitados principalmente por el número de parejas disponibles, lo que establece patrones claros en la selección sexual y estrategias reproductivas diferentes entre ambos sexos.

⇒ SELECCIÓN INTRASEXUAL

Se llama así a la competencia directa entre individuos del mismo sexo, generalmente machos, para acceder a las hembras. Las hembras no intervienen activamente en la selección, sino que son objeto de monopolización.



Tipos específicos:



1. **Combate directo**:

• Favorece tamaños corporales grandes.

• Desarrollo de estructuras ofensivas o defensivas (colmillos, cuernos, etc.).

• Promueve estrategias eficaces de lucha, privilegiando la intimidación antes que la agresión física directa.

2. **Impedimento de la cópula posterior**:

• Prolongación de la cópula o vigilancia posterior de la hembra para asegurar que los huevos sean fecundados únicamente por ese macho.

• Para ello se utiliza feromonas o tapones vaginales para impedir futuras cópulas.





3. **Infanticidio**:



• Los machos matan las crías ajenas para provocar que la hembra entre nuevamente en celo y poder así reproducirse ellos mismos.

• Estrategia común entre mamíferos, especialmente cuando un nuevo macho dominante desplaza a otro.

4. **Competencia espermática**:

• En casos de fecundación interna, se favorece una producción abundante de esperma.

• Desarrollo de estructuras anatómicas capaces de retirar el esperma depositado previamente por otros machos.



• Incluye fenómenos como la impregnación hipodérmica, una forma extrema en la cual los machos "parásitos" penetran traumáticamente a la pareja para fecundarla (observado en especies como los turbelarios).

Estos mecanismos reflejan diferentes estrategias evolutivas para maximizar el éxito reproductivo en contextos donde la competencia por las hembras es intensa.

⇒ SELECCIÓN INTERSEXUAL

Este tipo de selección sexual implica que uno de los sexos, generalmente las **hembras**, elige activamente a sus parejas reproductivas en función de ciertas características que consideran atractivas o beneficiosas para la descendencia, ya que invierten muchos recursos en sus crías.

La selección intersexual se divide en:

1. Regalos nupciales:

• Las hembras seleccionan a los machos en función del regalo que ofrecen, que suelen ser **alimentos o nutrientes esenciales**.

• El objetivo es obtener beneficios directos inmediatos para las crías, incrementando el fitness (efectividad biológica) de la descendencia.

2. Beneficios genéticos:

Las hembras seleccionan a los machos que ofrecen mejores genes para sus descendientes, lo que aumenta su eficacia biológica (fitness). Estas dos hipótesis principales pueden aclarar estos conceptos:

a) Hipótesis de la Reina Roja:

• Basada en la idea evolutiva de que las especies deben estar continuamente adaptándose para sobrevivir frente a la presión de patógenos y competidores.

• Los machos que demuestran resistencia a estos patógenos aportan una ventaja genética considerable a su descendencia.

• Frase clave: "Para quedarte donde estás tienes que correr lo más rápido que puedas" "Si quieres ir a otro sitio, deberás correr, por lo menos, dos veces más rápido".

b) Hipótesis del Hándicap:

• Sugiere que ciertos caracteres atractivos (**epigámicos**) para el sexo opuesto son costosos energética y potencialmente peligrosos para la supervivencia, pero precisamente por ello indican buena genética.



• Ejemplo típico: **colores llamativos** (como el naranja en aves), derivados de sustancias como **carotenoides**, que solo pueden ser metabolizadas por individuos sanos, indicando así buena salud inmunológica y ausencia de parásitos.



• Los machos que exhiben estas características están mostrando indirectamente su resistencia a enfermedades y buena condición genética, aumentando su probabilidad de reproducción.

Conceptos clave asociados:

• **Carácter epigámico**: característica atractiva pero costosa en términos de supervivencia.

• Los parásitos y patógenos ejercen una presión evolutiva continua, haciendo imprescindible una adaptación constante (Reina Roja).

• Los machos con rasgos costosos y llamativos (colores intensos, cantos elaborados, etc.) pueden ser preferidos por las hembras debido a la señalización indirecta de su calidad genética (Hándicap).

En resumen, mientras que la selección intrasexual está relacionada con la competencia directa entre individuos del mismo sexo, la selección intersexual depende de la elección activa por parte del otro sexo (generalmente las hembras), buscando mejorar la calidad genética o recibir recursos directos beneficiosos para la descendencia.

TÉRMINOS CLAVE RELACIONADOS CON LA BIOLOGÍA DE LA REPRODUCCIÓN Y ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS

1. Estrategias reproductivas:

• **Poliginia**: Sistema reproductivo donde un macho tiene acceso reproductivo a **múltiples hembras**.

• **Poliginia**: Sistema reproductivo donde un macho se aparea con varias hembras.

• **Monogamia**: Sistema en el que cada individuo tiene una única pareja reproductiva, al menos durante una temporada o toda la vida.

• **Poliandria**: Sistema en el que una hembra se reproduce con múltiples machos.

Estos dos términos de **ecología poblacional** están relacionados con estrategias reproductivas basadas en la supervivencia y reproducción:

• **Estrategia r**: Implica producir muchos descendientes con una menor inversión en cada uno, típica en ambientes inestables o impredecibles.

Estrategas *r* *(rate)*



Estrategas *k* *(Kapazitätsgrenze)*



• **Estrategia K** (del alemán *Kapazitätsgrenze*, "límite de capacidad"): Favorece la reproducción de pocos descendientes con una elevada inversión parental, adaptándose a ambientes más estables y cerca del límite de capacidad del hábitat.